

a)

RAMAN AMPLIFIER AND OPTICAL FIBER COMMUNICATION SYSTEM USING THE SAME

Patent Number: JP2001117126

Publication date: 2001-04-27

Inventor(s): MASUDA KOJI

Applicant(s): NIPPON TELEGR & TELEPH CORP

Requested Patent: ☐ JP2001117126

Application Number: JP20000237797 20000804

Priority Number(s):

IPC Classification: G02F1/35; H01S3/06; H01S3/094; H01S3/10; H01S3/30; H04B10/17; H04B10/16

EC Classification:

Equivalents:

Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve the gain and excitation efficiency.

SOLUTION: An optical fiber 1 as the gain medium of a Raman amplifier is excited by an excitation light source 2, the excitation light from the excitation light source 2 and the signal light are multiplexed in a multiplexer 3, and the excitation light after passing the optical fiber 1 is reflected by a reflector 4 for the excitation light. The excitation light source 2 is equipped with wavelength multiplexed laser diodes LD 11 of wavelengths ($\lambda S1$, $\lambda S2$, $\lambda S3$), fiber gratings FG 12 to narrow the oscillation wavelength of each LD 11, and wavelength selection multiplexer WSC to multiplex the excitation light having a plurality of wavelengths, and isolator 14 to remove external residual reflected light. The reflector 4 for excitation light transmits the signal light with low transmission loss while reflects the excitation light at high reflectance to make the light enter again the optical fiber 1. Thus, the total input power of the excitation light can be increased.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

a)

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開 2001-117126

(P 2001-117126 A)

(43) 公開日 平成13年4月27日 (2001. 4. 27)

(51) Int. Cl. 7			識別記号	F I	テーマコード (参考)		
G 0 2 F	1/35		5 0 1	G 0 2 F	1/35	5 0 1	
H 0 1 S	3/06			H 0 1 S	3/06		B
	3/094				3/10		Z
	3/10				3/30		Z
	3/30				3/094		S
審査請求			有	請求項の数 2 4	O L	(全 1 7 頁) 最終頁に続く	

(21) 出願番号 特願2000-237797 (P2000-237797)

(22) 出願日 平成12年8月4日 (2000. 8. 4)

(31) 優先権主張番号 特願平11-224534

(32) 優先日 平成11年8月6日 (1999. 8. 6)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(72) 発明者 増田 浩次

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本

電信電話株式会社内

(74) 代理人 100077481

弁理士 谷 義一 (外1名)

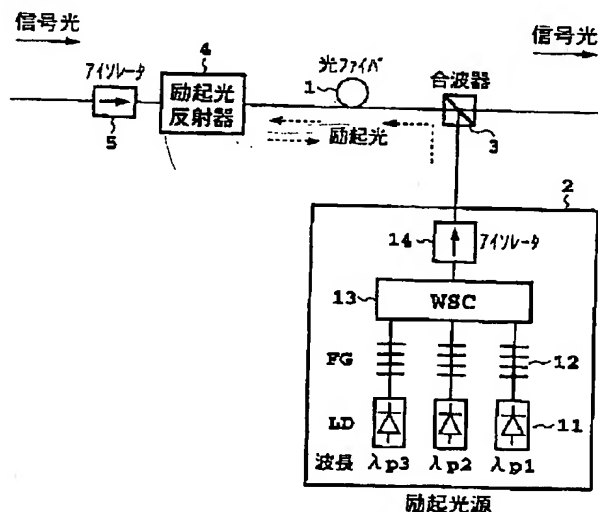
(54) 【発明の名称】 ラマン増幅器及びそれを用いた光ファイバ通信システム

(57) 【要約】

【課題】 利得の向上及び励起効率の向上を図る。

【解決手段】 ラマン増幅器の利得媒質である光ファイバ1を励起光源2で励起し、合波器3で励起光源2からの励起光と信号光を合波し、励起光反射器4で光ファイバ1を通過後の励起光を反射する。励起光源2は、波長多重 ($\lambda S1$ 、 $\lambda S2$ 、 $\lambda S3$) されたレーザダイオード (LD) 11と、各LD11の発振波長を狭窄化するためのファイバグレーティング (FG) 12と、複数波長の励起光を波長多重するための波長選択型合波器 (WSC) 13と、外部からの残留反射光を除去するためのアイソレータ14を備えている。励起光反射器4は、信号光を低い透過損失で透過させるとともに、励起光を高い反射率で反射させ、再び光ファイバ1に入射させるため、総合の入力励起光パワーを増大させることができる。

本発明のラマン増幅器の第1構成図



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 ラマン増幅器の利得媒質である光ファイバと、
該光ファイバを励起する励起光源と、
該励起光源からの励起光と入力された信号光とを合波する合波器と、
前記光ファイバを通過した励起光を反射する励起光反射器と、
を備えたことを特徴とするラマン増幅器。

【請求項 2】 ラマン増幅器の利得媒質である光ファイバと、
該光ファイバを励起する励起光源と、
該励起光源からの励起光と入力された信号光とを合分波する合分波器と、
前記光ファイバを通過した信号光を反射する信号光反射器と、
該信号光反射器で反射された信号光及び入力された信号光を別の 2 つのポートから入力するサーキュレータと、
を備えたことを特徴とするラマン増幅器。

【請求項 3】 ラマン増幅器の利得媒質である光ファイバと、
該光ファイバを信号光の伝搬方向に対して逆方向から励起する励起光源と、
前記光ファイバを通過した信号光を反射する信号光反射器と、
該信号光反射器で反射された信号光及び入力された信号光を別の 2 つのポートから入力するサーキュレータと、
を備え、前記信号光反射器は前記励起光源からの励起光を低損失で透過させることを特徴とするラマン増幅器。

【請求項 4】 ラマン増幅器の利得媒質である光ファイバと、
該光ファイバを信号光の伝搬方向に対して逆方向から励起する励起光源と、
前記光ファイバを通過した信号光を反射する信号光反射器と、
前記光ファイバを通過した励起光を反射する励起光反射器と、
該信号光反射器で反射された信号光及び入力された信号光を別の 2 つのポートから入力するサーキュレータと、
を備え、前記信号光反射器は前記励起光源からの励起光を低損失で透過させるとともに、前記励起光反射器は信号光を低損失で透過させることを特徴とするラマン増幅器。

【請求項 5】 ラマン増幅器の利得媒質である光ファイバと、
該光ファイバを信号光の伝搬方向に対して順方向から励起する励起光源と、
該励起光源からの励起光と入力された信号光を合分波する合分波器と、
前記光ファイバを通過した信号光を反射する信号光反射

器と、
前記光ファイバを通過した前記励起光源からの励起光を反射する励起光反射器と、
前記信号光反射器で反射された信号光及び入力された信号光を別の 2 つのポートから入力するサーキュレータと、
を備え、前記信号光反射器が前記励起光反射器より前記光ファイバの近傍に配置した場合には、前記信号光反射器は前記励起光源からの励起光を低損失で透過させ、前記励起光反射器が前記信号光反射器より前記光ファイバの近傍に配置した場合には、前記励起光反射器は信号光を低損失で透過させることを特徴とするラマン増幅器。

【請求項 6】 前記励起光源は複数の波長の異なるレーザを有し、前記励起光反射器は、前記レーザからの波長の異なる励起光をすべて反射することを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載のラマン増幅器。

【請求項 7】 前記励起光源は、素子の利得が伝搬光の偏波に依存しない 1 個のレーザダイオードを有し、該レーザダイオードが無反射処理された前端面と高反射処理された後端面を有し、前記励起光反射器は、前記レーザからの波長の異なる励起光をすべて反射するとともに、信号光を低損失で透過することを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載のラマン増幅器。

【請求項 8】 前記励起光源は、素子の利得が伝搬光の偏波に依存しない発振波長の異なる複数のレーザダイオードと、該レーザダイオードからの複数の励起光を合波する 1 個の波長選択型の合分波器とを有し、前記レーザダイオードは、無反射処理された前端面と高反射処理された後端面を有し、前記励起光反射器は、前記レーザからの波長の異なる複数の励起光をすべて反射するとともに、信号光を低損失で透過することを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載のラマン増幅器。

【請求項 9】 前記励起光源は、無反射処理された前端面と高反射処理された後端面を有する 1 個のレーザダイオードを有し、前記励起光反射器は前記レーザからの波長の異なる複数の励起光をすべて反射するとともに、信号光を低損失で透過し、前記励起光源からの励起光を通過する各光部品は、前記励起光に対して偏波保持型であることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載のラマン増幅器。

【請求項 10】 前記励起光源は、発振波長の異なる複数のレーザダイオードと、該レーザダイオードからの複数の励起光を合波する 1 個の波長選択型の合分波器とを有し、前記レーザダイオードは無反射処理された前端面と高反射処理された後端面を有し、前記励起光反射器は、前記レーザからの波長の異なる複数の励起光をすべて反射するとともに、信号光を低損失で透過し、前記励起光源からの励起光を通過する各光部品は、前記励起光に対して偏波保持型であることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載のラマン増幅器。

【請求項 1 1】 前記励起光源は、発振波長が同一の 2 個のレーザダイオードと、該レーザダイオードからの偏波の異なる 2 つの励起光を合波する偏波合分波器とを有し、前記レーザダイオードは無反射処理された前端面と高反射処理された後端面を有し、前記励起光反射器は、前記レーザからの波長の異なる複数の励起光をすべて反射するとともに、信号光を低損失で透過することを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載のラマン増幅器。

【請求項 1 2】 前記励起光源は、発振波長が同じ 2 個のレーザダイオードの組を複数有し、組内の 2 個のレーザダイオードからの励起光を合波する自然数個の偏波合分波器と、1 個の波長選択型の合分波器とを有し、前記レーザダイオードは無反射処理された前端面と高反射処理された後端面を有することを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載のラマン増幅器。

【請求項 1 3】 前記励起光反射器または信号光反射器の少なくとも一方がファイバグレーティングであることを特徴とする請求項 1 乃至 1 2 いずれか 1 項に記載のラマン増幅器。

【請求項 1 4】 励起光波長が複数あり、前記励起光反射器が励起波波長ごとの光ファイバグレーティングを有するか、あるいは信号光波長が複数あり、前記信号光反射器が信号波長ごとのファイバグレーティングことを有することを特徴とする請求項 1 乃至 1 2 いずれか 1 項に記載のラマン増幅器。

【請求項 1 5】 前記励起光反射器が、信号光と励起光の合分波器、およびミラーからなるか、あるいは前記信号光反射器が、信号光と励起光の合分波器、およびミラーからなることを特徴とする請求項 1 乃至 1 2 いずれか 1 項に記載のラマン増幅器。

【請求項 1 6】 前記合分波器が誘電体多層膜フィルタを用いたことを特徴とする請求項 1 5 に記載のラマン増幅器。

【請求項 1 7】 前記励起光反射器または前記信号光反射器の少なくとも一方がミラーであることを特徴とする請求項 1 乃至 1 2 いずれか 1 項に記載のラマン増幅器。

【請求項 1 8】 前記光ファイバが 2 つ以上のラマン増幅の励起効率の異なる異種の光ファイバの間に励起光の反射器を設置したことを特徴とする請求項 1 乃至 1 7 いずれか 1 項に記載のラマン増幅器。

【請求項 1 9】 請求項 1 乃至 1 8 のいずれかに記載のラマン増幅器を用い、光ファイバを介して信号光を伝送する光ファイバ通信システムであって、前記光ファイバは前記信号光を分布的に増幅する伝送ファイバであることを特徴とする光ファイバ通信システム。

【請求項 2 0】 前記励起光反射器または信号光反射器の少なくとも一方がファイバグレーティングであることを特徴とする請求項 1 9 に記載の光ファイバ通信システム。

【請求項 2 1】 励起光波長が複数あり、前記励起光反射器が励起波波長ごとの光ファイバグレーティングを有するか、あるいは信号光波長が複数あり、前記信号光反射器が信号波長ごとのファイバグレーティングことを有することを特徴とする請求項 1 9 に記載の光ファイバ通信システム。

【請求項 2 2】 前記励起光反射器が、信号光と励起光の合分波器、およびミラーからなるか、あるいは前記信号光反射器が、信号光と励起光の合分波器、およびミラーからなることを特徴とする請求項 1 9 に記載の光ファイバ通信システム。

【請求項 2 3】 前記合分波器が誘電体多層膜フィルタを用いたことを特徴とする請求項 2 2 に記載の光ファイバ通信システム。

【請求項 2 4】 前記励起光反射器または前記信号光反射器の少なくとも一方がミラーであることを特徴とする請求項 1 9 に記載の光ファイバ通信システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

20 【発明の属する技術分野】本発明は、利得の向上及び励起効率の向上を図るラマン増幅器及びそれを用いた光ファイバ通信システムに関する。

【0002】

【従来の技術】図 2 1 は、従来のラマン増幅器の第 1 構成例を示す図で、このラマン増幅器は、ラマン増幅の利得媒質である光ファイバ 9 1 と、励起光源 9 2 と、励起光源 9 2 と信号光を合波する合波器 9 3 と、ラマン増幅器への残留反射光を除去するためのアイソレータ 9 4 より構成されている。

30 【0003】励起光源 9 2 は、各レーザダイオード (LD) 9 5 の発振波長を狭窄化するためのファイバグレーティング (FG) 9 6 と、複数波長の励起光を波長多重するための波長選択型合波器 (WSC) 9 7 と、外部からの残留反射光を除去するためのアイソレータ 9 8 を備えている (例えば、Y. Emori et al., Proc. OFC, PD19, 1999 参照)。

40 【0004】図 2 2 (a) ~ (c) は、従来及び本発明のラマン増幅器の適用形態を示す図で、図 2 2 (a) および (b) は、ラマン増幅器が光ファイバ通信システムで用いられる場合を示し、図 2 2 (c) は、光源 1 0 3 と測定系 1 0 4 とを有する計測などで用いられる場合を示している。また、図 2 2 (a) は、伝送路である伝送ファイバ自体を増幅媒体として利用する分布増幅器の場合であり、図 2 2 (b) は、伝送路である伝送ファイバの後段あるいは前段に配置する線形中継器、後置増幅器、前置増幅器の場合である。

50 【0005】図 2 1 は、励起光の伝搬方向が信号光の伝搬方向と逆である後方向励起の場合を示しているが、両者の伝搬方向が同じである前方向励起の場合、または双方向励起の場合にも、以下に述べる事柄が成立する。

【0006】図21に示した光ファイバ91は、伝送ファイバ101またはラマンファイバ102である。伝送ファイバ101は、1.3 μm ゼロ分散のシングルモードファイバ(SMF)や1.5 μm 分散シフトファイバ(DSF)などである。図22(b)(c)に示したラマンファイバ102は、ラマン利得係数が大きくなるように、光ファイバの組成や構造パラメータを設定したものである。一般に、シリカファイバの場合、ファイバコアの GeO_2 濃度が大きいほど、また、伝搬光のモード径が小さい(開口数が大きい)ほどラマン利得係数が大きい。

【0007】伝送ファイバ101の長さは数10km、またラマンファイバ102の長さは数kmである。伝送ファイバ101を用いる場合は、その伝送ファイバ中で信号光を分布的に増幅し、またラマンファイバ102を用いる場合は、信号光を伝送ファイバ101の前段または後段で集中的に増幅する。

【0008】上述したように、光ファイバ91として伝送ファイバ101を用いる場合には、光信号を分布的に増幅するため、光ファイバ91としてラマンファイバ102を用いる場合に比べて、光雑音特性が向上するという特徴がある。一方、光ファイバ91としてラマンファイバ102を用いる場合には、光信号を集中的に増幅するため、光ファイバ91として伝送ファイバ101を用いる場合に比べて、伝送ファイバ101に対する制約がないという特徴がある。

【0009】励起光源92は、レーザとして、波長多重されたレーザダイオード(LD)または、単一波長または波長多重されたファイバラマンレーザ(例えば、K. Rottwitt et al., Proc. OFC, PD6, 1998 又は E. M. Dianov et al., Electron. Lett., Vol. 34, No. 7, pp. 669-670, 1998 参照)などを含む。図21に示した構成のラマン増幅器は、高信頼性や高安定性を有し、コンパクトであるなどの点で他と比較して実用的であるLDの場合について示している。一般に、光ファイバを用いたラマン増幅の励起効率は低いので、数100mWから数Wの励起光パワーが必要とされる。また、1個のLDからの励起光パワーは、通常、約100mWである。したがって、図21に示したように、励起光の波長多重の構成が採用されることが多い。ここでは、LDの個数が3個の場合を示しているが、一般には、LDの個数は任意(単数または複数)に採用できる。

【0010】上述したように、励起光源は、励起光の波長多重を行うために、各LDの発振波長を狭窄化するためのファイバグレーティング(FG)と、複数波長の励起光を波長多重するための波長選択型合波器(WSC)と、外部からの残留反射光を除去するためのアイソレータを備えている。一般に、LDはファブリーペロー型であり、また、FGの透過幅は1nm程度以下、LDの隣接波長間隔は10nm程度である。FGを用いない場合に、LDの発振スペクトル幅は、約10nmである。し

たがって、LDの隣接波長間隔を10nm以上にして、FGを用いない構成も提案されている(例えば、H. Masuda et al., Proc. ECOC, Post Dead-Line Paper, pp. 73-76, 1997 参照)。LDの個数が1個の場合には、当然のことながら、波長選択型合波器は用いない。また、一般に、上述の励起光波長の多重は、総合励起光パワーの増大のために用いられると同時に、ラマン利得の広帯域化のためにも用いられる。なお、波長選択型合波器は、マッハツェンダー型の導波路回路(MZ-PLC)やアレイ型導波路(AWG)などである。

【0011】図23は、従来のラマン増幅器の第2構成例を示す図で、この構成のものは、上述した図21の構成のものに比べて、より高い総合励起光パワーを得るために、各波長の励起光に対して偏波ビーム合波器(PBC)103を用いて偏波多重を行っている。

【0012】図24は、波長選択型合波器の3つのポートに関する透過率スペクトルを示している。つまり、各励起光波長において透過率が高く保たれている様子を示している。

【0013】図25は、従来のラマン増幅器の第3構成を示す図であり、文献: E. M. Dianov et al., Electron. Lett., Vol. 34, No. 7, pp. 669-670, 1998 に示されている。前記第1および第2構成とは、第1および第2構成では複数波長で光ファイバの励起を行っているが、第3構成では単一波長で励起を行っている点が大きく異なる。ただし、図25で高NAファイバ111と記しているのは光ファイバの一種である。図26は、単一波長励起と多波長励起における利得スペクトルの相違の概略を示している。多波長励起の方が広い帯域が得られている。このことは、EDFAの場合と明らかに異なる。EDFAでは、励起光パワーの増大のために多波長励起が用いられる。EDFAの利得スペクトルは単一波長励起と多波長励起で異なることはない。

【0014】また、第3構成では、高NAファイバ111を射出した相当量の励起光の反射を行い、再び高NAファイバに入射されて高NAファイバに入射する励起光パワーの総合値の向上を行っている。その結果、dB単位のラマン利得(内部値)がその励起光パワーの総合値に比例するため、利得の向上が行われている。上記の励起光の反射は、高NAファイバを射出し励起光を4ポートのファイバ型合分波器の入力ポートに導いて信号光と分波し、4ポートのファイバ型合分波器の出力ポートから射出した励起光をファイバグレーティング(FG)115で反射し、その反射した励起光を、前記出力ポートから入力ポートに戻している。なお、図中符号114はアイソレータ、112は合波器、113は合分波器である。

【0015】

【発明が解決しようとする課題】上述のように、従来のラマン増幅器においては、ラマン増幅の励起効率が低い

ために、高パワーの励起光源を必要とし、その励起光源の構成部品数が必然的に多くなり、また価格が高くなるという問題がある。また、逆に、励起光源からの総合励起光パワーの値が限られている場合には、十分な信号光利得が得られないという問題がある。

【0016】さらに、前記第3構成の場合には、高NAファイバを出射した励起光は、4ポートのファイバ型合分波器を2回通過した後、高NAファイバに戻るため、4ポートのファイバ型合分波器の挿入損失により損失を受ける。その挿入損失が単一通過で約0.5 dB以上、2回通過で約1 dB以上であり、無視できないという問題がある。また、4ポートのファイバ型合分波器は信号光波長領域に挿入損失の波長依存性を有し、広波長域の信号光に対して過剰損失を与えるという問題がある。

【0017】本発明はこのような問題に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、利得の向上及び励起効率の向上を図ることのできるラマン増幅器及びそれを用いた光ファイバ通信システムを提供することにある。

【0018】

【課題を解決するための手段】本発明は、このような課題を解決するために、請求項1に記載の発明は、ラマン増幅器の利得媒質である光ファイバと、該光ファイバを励起する励起光源と、該励起光源からの励起光と入力された信号光とを合波する合波器と、前記光ファイバを通過した励起光を反射する励起光反射器とを備えたことを特徴とするものである。

【0019】この発明は、図1、図3、図5に示した実施形態（実施形態）に対応するもので、光ファイバで損失を受けずに透過した励起光を励起光反射器で反射し、再び光ファイバに人射させるため、総合の入力励起光パワーを増大させることができる。一方、内部ラマン利得（光ファイバ内の利得でdB単位で測られる値）は、総合の入力励起光パワーに比例するので、内部ラマン利得は従来のラマン増幅器と比較して相当量増加し、ラマン増幅器の励起効率が向上する。

【0020】請求項2に記載の発明は、ラマン増幅器の利得媒質である光ファイバと、該光ファイバを励起する励起光源と、該励起光源からの励起光と入力された信号光とを合分波する合分波器と、前記光ファイバを通過した信号光を反射する信号光反射器と、該信号光反射器で反射された信号光及び入力された信号光を別の2つのポートから入力するサーキュレータとを備えたことを特徴とするものである。

【0021】この発明は、図6に示した実施形態に対応するもので、ラマン利得が信号光により飽和していない場合には、信号光利得が従来の構成の約2倍になるという利点がある。

【0022】請求項3に記載の発明は、ラマン増幅器の利得媒質である光ファイバと、該光ファイバを信号光の伝搬方向に対して逆方向から励起する励起光源と、前記

光ファイバを通過した信号光を反射する信号光反射器と、該信号光反射器で反射された信号光及び入力された信号光を別の2つのポートから入力するサーキュレータとを備え、前記信号光反射器は前記励起光源からの励起光を低損失で透過させることを特徴とするものである。

【0023】この発明は、図8に示した実施形態に対応するもので、図6に示した実施形態と異なり、合波器と無反射終端器を用いていない。信号光利得の向上に関しては、信号光利得が従来の構成の約2倍になるという利点がある。

【0024】請求項4に記載の発明は、ラマン増幅器の利得媒質である光ファイバと、該光ファイバを信号光の伝搬方向に対して逆方向から励起する励起光源と、前記光ファイバを通過した信号光を反射する信号光反射器と、前記光ファイバを通過した励起光を反射する励起光反射器と、該信号光反射器で反射された信号光及び入力された信号光を別の2つのポートから入力するサーキュレータとを備え、前記信号光反射器は前記励起光源からの励起光を低損失で透過させるとともに、前記励起光反射器は信号光を低損失で透過させることを特徴とするものである。

【0025】この発明は、図9に示した実施形態に対応するもので、図1に示した実施形態と図8に示した実施形態の効果を兼ね備えているので、顕著な信号光利得の向上がある。

【0026】請求項5に記載の発明は、ラマン増幅器の利得媒質である光ファイバと、該光ファイバを信号光の伝搬方向に対して順方向から励起する励起光源と、該励起光源からの励起光と入力された信号光を合分波する合分波器と、前記光ファイバを通過した信号光を反射する信号光反射器と、前記光ファイバを通過した前記励起光源からの励起光を反射する励起光反射器と、前記信号光反射器で反射された信号光及び入力された信号光を別の2つのポートから入力するサーキュレータとを備え、前記信号光反射器が前記励起光反射器より前記光ファイバの近傍に配置した場合には、前記信号光反射器は前記励起光源からの励起光を低損失で透過させ、前記励起光反射器が前記信号光反射器より前記光ファイバの近傍に配置した場合には、前記励起光反射器は信号光を低損失で透過させることを特徴とするものである。

【0027】この発明は、図10に示した実施形態に対応するもので、図9に示した実施形態と同様に、図1に示した実施形態と図8に示した実施形態の効果を兼ね備えているので、顕著な信号光利得の向上がある。

【0028】請求項6に記載の発明は、請求項1乃至5のいずれかにおいて、前記励起光源は複数の波長の異なるレーザを有し、前記励起光反射器は、前記レーザからの波長の異なる励起光をすべて反射することを特徴とするものである。

【0029】この発明は、図1に示した実施形態と、図

6、図8、図9、図10の実施形態の組み合わせに対応するものである。

【0030】請求項7、8、9、10に記載の発明は、図3に示した実施形態と、図6、図8、図9、図10の実施形態の組み合わせに対応するものである。

【0031】請求項11、12に記載の発明は、図5に示した実施形態と、図6、図8、図9、図10の実施形態の組み合わせに対応するものである。

【0032】請求項13に記載の発明は、励起光反射器または信号光反射器の少なくとも一方がファイバグレーティングであることを特徴とするものである。

【0033】請求項14に記載の発明は、励起光波長が複数あり、前記励起光反射器が励起光波長ごとの光ファイバグレーティングを有するか、あるいは信号光波長が複数あり、前記信号光反射器が信号光波長ごとのファイバグレーティングことを有することを特徴とするものである。

【0034】請求項15に記載の発明は、前記励起光反射器が、信号光と励起光の合分波器、およびミラーからなるか、あるいは前記信号光反射器が、信号光と励起光の合分波器、およびミラーからなることを特徴とするものである。

【0035】請求項16に記載の発明は、前記合分波器が誘電体多層膜フィルタを用いたことを特徴とするものである。

【0036】請求項17に記載の発明は、前記励起光反射器または前記信号光反射器の少なくとも一方がミラーであることを特徴とするものである。

【0037】請求項18に記載の発明は、前記光ファイバが2つ以上のラマン増幅の励起効率の異なる異種の光ファイバの間に励起光の反射器を設置したことを特徴とするものである。

【0038】請求項19に記載の発明は、請求項1乃至18のいずれかに記載のラマン増幅器を用い、光ファイバを介して信号光を伝送する光ファイバ通信システムであって、前記光ファイバは信号光を分布的に増幅する伝送ファイバであることを特徴とするものである。

【0039】この発明は、図1、図3、図5に示したラマン増幅器を用いた光ファイバ通信システムに対応するもので、波長分割多重された複数波長のものでも、時分割多重された単一波長のものでもよい。また、計測などの光ファイバ通信システム関連分野において、信号光は、波長複数波長のものでも単一波長のものでもよい。

【0040】請求項20に記載の発明は、前記励起光反射器または信号光反射器の少なくとも一方がファイバグレーティングであることを特徴とするものである。

【0041】請求項21に記載の発明は、励起光波長が複数あり、前記励起光反射器が励起光波長ごとの光ファイバグレーティングを有するか、あるいは信号光波長が複数あり、前記信号光反射器が信号光波長ごとのファイバ

グレーティングことを有することを特徴とするものである。

【0042】請求項22に記載の発明は、前記励起光反射器が、信号光と励起光の合分波器、およびミラーからなるか、あるいは前記信号光反射器が、信号光と励起光の合分波器、およびミラーからなることを特徴とするものである。

【0043】請求項23に記載の発明は、前記合分波器が誘電体多層膜フィルタを用いたことを特徴とするものである。

【0044】請求項24に記載の発明は、前記励起光反射器または前記信号光反射器の少なくとも一方がミラーであることを特徴とするものである。

【0045】

【発明の実施の形態】以下図面を参照して、本発明の実施の形態について詳細に説明する。

【0046】図1は、本発明におけるラマン増幅器の第1実施形態（構成例）を示す図で、図中、符号1は、ラマン増幅器の利得媒質である光ファイバで、符号2は、光ファイバ1を励起する励起光源で、符号3は、励起光源2からの励起光と信号光を合波する合波器で、符号4は、光ファイバ1を通過後の励起光を反射する励起光反射器である。また、符号5は、ラマン増幅器への残留反射光を除去するためのアイソレータである。

【0047】励起光源2は、波長多重（ $\lambda S1$ 、 $\lambda S2$ 、 $\lambda S3$ ）されたレーザダイオード（LD）11と、各LD11の発振波長を狭窄化するためのファイバグレーティング（FG）12と、複数波長の励起光を波長多重するための波長選択型合波器（WSC）13と、外部からの残留反射光を除去するためのアイソレータ14を備えている。

【0048】本発明のラマン増幅器と、図21に示した従来のラマン増幅器の第1実施形態と比較すると、本発明のものは、光ファイバ1とアイソレータ5との間に励起光反射器4が設けられている点で従来のものと構成上大きく異なっている。励起光反射器4は、信号光を低い透過損失で透過させるとともに、励起光を高い反射率で反射させるものである。一般に、ラマン増幅器は、信号光波長が数10nmから約100nm、励起光波長より長波長側に設定されている。

【0049】図2（a）～（c）は、励起光反射器の構成図で、図2（a）および（b）がFG21を用いた場合の図で、図2（c）が合波器23とミラー24を用いた場合の図である。図2（a）に示したFG21は、複数波長の励起光を一括して反射し、信号光を透過するものである。一方、図2（b）に示したFG22は、複数波長の励起光を各波長毎に反射し、信号光を透過するものである。ミラー24は、ガラス板に金属を蒸着したものやFGである。一般に、図2（a）および（b）のFG21、22は、図2（c）の合波器23に比べて挿入損失が

少ない。したがって、図2(a)および(b)における励起光の反射率は、図2(c)における励起光の反射率より高くとれるという特徴がある。また、図2(a)の構成は、図2(b)構成に比べて構成部品数が少ないという特徴がある。

【0050】さらに、図27(c)の構成は、信号光と励起光を分離した後に励起光の反射を行っているので、ミラーの作成が容易であり、また、ミラーが安価であるという利点がある。これは、励起光波長が複数波長の分布幅が広い場合でも、信号光の損失によらず、ミラーが作成できるからである。また、合波器23が誘電体多層膜フィルタを用いたものである場合には、信号光と励起光の波長分離特性が良好であり、従来技術のような信号光波長における過剰損失がなく、また作成が容易、安価であるという利点がある。

【0051】図2に示した合波器23は、入射信号光と入射励起光を分波し、出射信号光と出射励起光を合波しているので、本来は合分波器を言うべきであるが、波長選択型の合波器が分波器としても動作することは光伝搬の相反性から明らかであるので、以下の説明においては、種々の光部品が合分波器として動作する場合にも合波器と言う。

【0052】光ファイバ1が、ラマンファイバで、GeO₂添加のシリカファイバの場合で、信号光波長が1.5μm近傍のときは、励起光の吸収係数は、0.4dB/km程度、長さは数km(励起光パワーと利得設定値に依存)である。したがって、ラマンファイバによる励起光の吸収値は、高々4dB程度であり、相当量の励起光が、光ファイバ1から出射する。

【0053】また光ファイバ1が、伝送ファイバで、1.3μmゼロ分散のシングルモードファイバ(SMF)、または、1.5μm分散シフトファイバ(DSF)の場合で、信号光波長が1.5μm近傍のときは、励起光の吸収係数は、それぞれ0.18dB/km程度、または0.22dB/km程度、長さは数10km(励起光パワーと利得設定値に依存)である。したがって、前記伝送ファイバによる励起光の吸収値は、長さが比較的短く、20km以下の場合、高々4dB程度であり、その相当量の励起光が、前記光ファイバから出射する。ただし、SMFとDSFでは、DSFの方がラマン利得係数は大きく、同じ励起光パワーでより大きなラマン利得をもたらす。

【0054】このような構成によれば、その相当量の励起光を励起光反射器4で反射し、再び光ファイバ1に入射させるため、総合の入力励起光パワーを増大させることができる。一方、内部ラマン利得(光ファイバ内の利得でdB単位で測られる値)は、総合の入力励起光パワーに比例する。したがって、前記内部ラマン利得は、従来のラマン増幅器と比較して相当量増加する。ただし、実際に利用できるラマン利得(以下、単にラマン利得と

言う)は、光ファイバ1がラマンファイバの場合には、内部ラマン利得からラマンファイバの信号光損失を差し引いたものである。このように本発明によれば、同じ励起光源を用いた従来のラマン増幅器と比較して、ラマン利得が向上し、ラマン増幅器の励起効率が向上する。

【0055】図3(a)および(b)は、本発明のラマン増幅器の第2実施形態を示す図で、上述した第1実施形態と比較すると励起光源の構成が異なる。すなわち、第2実施形態の励起光源30は、複数のLD31と1個の波長選択型合波器33を備えている。第1実施形態で用いられたFG12とアイソレータ14は第2実施形態では必要ない。第2実施形態におけるLD31は、特定の場合を除き、LD素子内のレーザ利得が、偏波モード、すなわち、TEモードとTMモードに関して無偏波化されたものである。

【0056】特定の場合とは、図3(b)に示すように、ラマン増幅器に対する入力信号光の偏波が、一定の偏波面を有する直線偏波に保持され、かつ光ファイバ1と励起光反射器4からLD31の間に存在する光部品(合波器3、波長選択型合波器33、LDピグテール

の光ファイバ1)が、偏波保持型である場合である。この特定の場合にはLDは無偏波化されてなくてよい。通常、LD導波路構造の空間的非対称性に起因して、LD素子内のレーザ利得は偏波依存である。

【0057】このような構成により、各LD31から出射した励起光が、励起光反射器4で反射されたもの(以下、戻り光と言う)は、出射励起光と逆の経路をたどり、その励起波長に応じて各LD31に戻る。各LD31は、無反射コートしたLD素子の前端面と高反射コートしたLD素子の後端面を有し、励起光反射器4の反射面と後端面との間で外部共振器が形成される。

【0058】戻り光がない場合にLD31の発振波長幅(通常10nm程度)が、波長選択型合波器3における1つの励起光波長に対する透過幅より大きければ、外部共振器内におけるレーザ発振により発振波長幅は、波長選択型合波器33の透過幅以下に狭窄化される。したがって、第2実施形態ではLDに隣接したFGが不要である。

【0059】一方、戻り光がない場合の発振波長幅が波長選択型合波器33の透過幅より小さければ、外部共振器内におけるレーザ発振により発振波長は、波長選択型合波器33の透過幅以下に狭窄化されることはない。

【0060】第2実施形態で使用される波長選択型合波器33は、従来のラマン増幅器及び上述した第1実施形態において用いられる波長選択型合波器13と比較して、その透過率スペクトル特性に対する要求条件が異なる。

【0061】励起光反射器4が、その反射率が励起波長無依存である図2(a)および(c)の反射器の場合、第2実施形態の波長選択型合波器33の透過率スペクトル

は、図4に示したものとなる。すなわち、戻り光が、他の波長のLDに混入しないように、異なる励起光波長間における透過率の差が十分に大きいことが必要である。透過率の差は、例えば20dB以上である。一方、励起光反射器4が、その反射率が波長選択性を有する図2

(b)の反射器である場合、透過率差に関する制限は緩和される。

【0062】このように第2実施形態においても第1実施形態と同様に、励起光反射器4で反射された励起光が光ファイバ1に入力するため、総合入力励起光パワーが増大し、信号光利得が向上するという利点がある。

【0063】図5は、本発明のラマン増幅器の第3実施形態を示す図で、上述した第2実施形態と比較すると、励起光源50の部分異なる。すなわち、第3実施形態の励起光源50は、励起光波長の同じ2個のLD51a、51bの複数組と、その各組に対して用いられる偏波合波器(PBC)52と、1個の波長選択型合波器53を有する。第3実施形態のLD51は偏波依存のものでよい。励起光反射器4で反射された各LDからの励起光は、LDからの出射光と逆の経路をたどり、その励起波長に応じて、それぞれ元のLD、または波長は同じであるが偏波が異なるLDに戻る。反射された励起光が、励起光を発出した元のLDに戻る場合、第2実施形態の場合と同様に、励起光反射器4と後端面により外部共振器が形成される。一方、反射された励起光が、励起光を発出した元のLDと波長は同じであるが、偏波の異なるLDに戻る場合、外部共振器はそれら2個のLDの後端面で形成される。

【0064】このように第3実施形態においても第2実施形態と同様に、励起光反射器で反射された励起光が、前記光ファイバに入力するため、総合入力励起光パワーが増大し、信号光利得が向上するという利点がある。

【0065】図6は、本発明のラマン増幅器の第4実施形態を示す図で、図21に示した従来の第1構成例と比較すると、従来における2ポートのアイソレータが、第4実施形態では、3ポートのサーキュレータに置き換えられている。また、第4実施形態では、従来の第1構成例にはない信号光反射器65と無反射終端器66が新たに設けられている。

【0066】このような構成によれば、信号光は、一度光ファイバ1を通過して増幅された後、信号光反射器65で反射され、再び光ファイバ1を通過して増幅される。光ファイバ1を出射したその反射信号光は、サーキュレータ67により、第3のポート(図6の下方のポート)に出射される。無反射終端器66は、信号光反射器65を通過した残留信号光がコネクタ端面等により反射されて、本来の反射信号と混ざって雑音となることを防ぐ目的で設けられている。

【0067】図7(a)～(c)は、信号光反射器の構成を示した図である。図7(c)は、単純に信号光のみを

反射するミラー73を、図7(a)は、波長多重された信号光を一括して反射するファイバグレーティング(FG)71を、図7(b)は、波長多重された信号光を信号光の波長毎に反射するFG72を多段に接続したものである。ただし、ここでは信号光波長が3波長でその波長が $\lambda S1$ 、 $\lambda S2$ 、 $\lambda S3$ の場合について示している。図7

(c)の信号光反射器65に対しては、明らかに無反射終端器66は必要ない。

【0068】このように第4実施形態では、信号光利得が従来の構成の約2倍になるという利点がある。ただし、これはラマン利得が信号光により飽和していない場合ある。ラマン利得が信号光により飽和している場合には、信号光利得の向上は2倍以下であるが、いずれにせよ信号光利得の向上がある。FG71、72は、一般に反射光以外の波長の光に対して透明であるから、図7(b)及び図7(c)のように励起光は透過される。

【0069】図8は、本発明のラマン増幅器の第5実施形態を示す図で、図7(b)および図7(c)の構成の信号光反射器を用いた場合の実施形態を示す図である。第5実施形態は、図6に示した第4実施形態と異なり、合波器3及び無反射終端器66を用いていない。信号光利得の向上に関しては第4実施形態と同様であり、信号光利得が従来の構成の約2倍になるという利点がある。

【0070】上述のように、本発明の第1実施形態から第3実施形態では、励起光を反射させてラマン利得を向上させ、一方、第4実施形態と第5実施形態では、信号光を反射させてラマン利得を向上させている。第1、2、3実施形態と、第4、5実施形態は、図1、図3、図5、図6、図8より、互いに独立な構成であることがわかる。すなわち、第1、2、3実施形態と、第4、5実施形態を組み合わせた構成が可能である。具体的には、第1、2、3実施形態と第4実施形態の組み合わせ、及び第1、2、3実施形態と第5実施形態の組み合わせが可能である。

【0071】図9は、本発明のラマン増幅器の第6実施形態を示す図で、第1実施形態と第5実施形態を組み合わせたものである。図9に示した励起光反射器4は、励起光は反射するが信号光は透過させるもので、一方信号光反射器65は、信号光は反射するが励起光は透過させるものである。第6実施形態は、第1実施形態と第5実施形態の効果を兼ね備えているので、顕著な信号光利得の向上がある。

【0072】図10は、本発明のラマン増幅器の第7実施形態を示す図で、信号光と励起光が、励起光反射器及び信号光反射器が存在しない場合に、光ファイバ1中を同じ方向に伝搬する配置に対して適用される。励起光反射器4と信号光反射器65の順序は、図10の反対でもよい。また、無反射終端器66は、上述のように、必ずしも必要ではない。第7実施形態は、第6実施形態と同様に、第1実施形態と第5実施形態の効果を兼ね備えて

いるので、顕著な信号光利得の向上がある。

【0073】上述のように、本発明の第1実施形態から第7実施形態によれば、従来技術と比較して信号光利得が向上するという利点がある。

【0074】

【実施例】以下に本発明のラマン増幅器の具体的な各実施例(第1から第9実施例)を示すが、第1、第8及び第9実施例は、ともに上述した本発明の第1実施形態に対応し、第2実施例から第7実施例は、上述した本発明の第2実施形態から第7実施形態に順次対応している。また、第1実施例から第7実施例は、光ファイバがラマンファイバであり、集中増幅を行う場合に用いられ、第8実施例および第9実施例は、光ファイバが伝送ファイバであり、分布増幅を行う場合に用いられる。

【0075】上述したように、光ファイバとして伝送ファイバを用いる場合には、光信号を分布的に増幅するため、光ファイバとしてラマンファイバを用いる場合に比べて、光雑音特性が向上するという特徴がある。一方、上述のように、光ファイバとしてラマンファイバを用いる場合には、光信号を集中的に増幅するため、光ファイバとして伝送ファイバを用いる場合に比べて、伝送ファイバに対する制約がないという特徴がある。

【0076】[第1実施例] 図11は、本発明のラマン増幅器の第1実施例を示す図である。励起光源2のLD11の波長は、1430、1440、1450nmであるが、その波長は、各LD11に接続したファイバグレーティング(FG)12の反射率中心波長により決定される。LD11は、フアブリーペロー型のものであり、各LD11に接続されたFG12を用いないときの発振波長幅は約10nmである。各LD11に接続されたFG12の反射率半値幅は1nmであり、各LD11に接続されたFG12を用いたときの発振波長幅は1nm以下である。ラマンファイバは、GeO₂添加のシリカファイバであり、励起光に対する吸収係数、長さおよび励起光損失(吸収)値は、それぞれ、0.4dB/km、8km、3.2dBである。利得波長帯は、前述のように、励起光波長に依存しており、およそ、1530~1550nmである。

【0077】ラマンファイバに合波器3側から入射する励起光パワーは、各励起光波長につき、数10mWから約100mWであるが、以下では、説明を簡単にするために各励起光波長につき、100mWであるとする。図1に示した励起光反射器4として、図2(a)のタイプのFG、すなわち、3波長の励起光を一括して反射するFG4aを用いている。FG4aの励起光反射率は約100%(例えば、99%)、また、信号光の透過損失は0.2dB以下である。励起光反射器を用いない場合が、図21に示した従来のラマン増幅器である。その従来のラマン増幅器の内部ラマン利得は、信号光波長1530~1550nmで約15dBである。

【0078】上述のように、ラマンファイバの励起光損失値は3.2dBであるから、励起光反射器4としてのFG4aで反射される励起光パワーは、約48mWである。したがって、総合のラマンファイバの入力励起光パワーは、約148mWである。第1実施例における内部ラマン利得は、約22.2dBであり、ラマン利得の向上は、 $22.2 - 15 = 7.2$ より、約7.2dBとなる。

【0079】[第2実施例]図12は、本発明のラマン増幅器の第2実施例を示す図である。励起光反射器4として、図2(b)のタイプのFG、すなわち、3波長の励起光を個別に反射するFG4bを用いている。各FG4bの励起光反射率は約100%(例えば、99%)、反射率半値幅は2nmである。また、信号光の透過損失は3個のFG4b全体で0.5dB以下である。各LD31の前端面反射率は約1%、後端面反射率は約70%である。各LD31は、後端面と励起光反射用の各FG4bとにより外部共振器を形成して発振するが、その外部共振器内の光部品損失の総合値が過度に大きくなく、十分な前記戻り光が存在している。各波長の励起光の発振波長幅は、反射率半値幅により限定され、2nm以下である。

【0080】ラマンファイバは、GeO₂添加のシリカファイバであり、励起光に対する吸収係数、長さおよび励起光損失(吸収)値は、それぞれ、0.4dB/km、4km、1.6dBある。上述した第1実施例と同様に、従来のラマン増幅器の内部ラマン利得は、信号光波長1530~1550nmで約10dBである。ただし、ラマンファイバの長さが第1実施例の半分であるため、内部ラマン利得は小さくなっている。

【0081】上述のように、ラマンファイバの励起光損失値は1.6dBであるから、励起光反射器4としての各FG4bで反射される励起光パワーは、約69mWである。したがって、総合のラマンファイバの入力励起光パワーは、約169mWである。第2実施例における内部ラマン利得は、約16.9dBであり、ラマン利得の向上は、 $16.9 - 10 = 6.9$ より、約6.9dBとなる。

【0082】[第3実施例]図13は、本発明のラマン増幅器の第3実施例を示す図である。各波長の励起光パワーは、偏波多重により約2倍になっており、3つの励起光波長の間隔は、第1および第2実施例の場合の2倍である20nmとしている。3つの励起光波長は、1430、1450、1470nmである。励起光反射器4として、図2(c)のタイプのものを用いている。励起光反射器4の励起光反射率は約80%、信号光の透過損失は約0.5dBである。各LDは、後端面と励起光反射用の各FGとにより、外部共振器を形成して発振するが、その外部共振器内の光部品損失の総合値が過度に大きくなく、十分な戻り光が存在している。第2実施例と

同様に、従来のラマン増幅器の内部ラマン利得は、信号光波長 1530-1570 nm で約 10 dB である。

【0083】 上述のように、ラマンファイバの励起光損失値が 1.6 dB、励起光反射器 4 の励起光反射率が約 80% であるから、励起光反射器 4 から反射される励起光パワーは、約 55 mW ある。したがって、総合のラマンファイバの入力励起光パワーは、約 155 mW である。第 3 実施例における内部ラマン利得は、約 15.5 dB であり、ラマン利得の向上は、 $15.5 - 10 = 5.0$ より、約 5.0 dB となる。

【0084】 [第 4 実施例] 図 14 は、本発明のラマン増幅器の第 4 実施例を示す図である。信号光反射器 65 として、図 7(a) のタイプの FG、すなわち、3 波長の信号光を一括して反射する FG 71 を用いている。FG 71 の信号光反射率は約 100% (例えば、99%) である。無反射終端器 66 として、光ファイバ 1 の端面を斜めに研磨したものを用いており、その反射減衰量は 50 dB 以上であり十分高い値を有している。

【0085】 また、第 4 実施例の合波器 3 の信号光通過損失は、約 0.5 dB である。信号光は合波器 3 を一往復するので、一往復の透過損失は約 10.0 dB である。また、サーキュレータ 67 の信号光通過損失は、約 0.5 dB である。

【0086】 第 4 実施例で、信号光反射器 65 を用いない場合、図 21 に示した従来のラマン増幅器である。ただし、アイソレータ 64 の信号光通過損失は、約 0.5 dB である。その従来のラマン増幅器のラマン利得は、信号光波長 1530-1550 nm で、ラマン内部利得が約 10 dB、ラマンファイバの損失が 1.6 dB であるから、 $10 - 1.6 = 8.4$ より、約 8.4 dB となる。第 4 実施例では、信号光は、従来技術の場合と比較して、合波器 3 を 2 回、ラマンファイバとサーキュレータ 67 を 1 回余分に通過する。したがって、ラマン利得の増加分は、 $8.4 - 0.5 \times 2 - 0.5 = 6.9$ より、約 6.9 dB となる。

【0087】 [第 5 実施例] 図 15 は、本発明のラマン増幅器の第 5 実施例を示す図である。信号光反射器 65 として、図 7(b) のタイプの FG、すなわち、3 波長の信号光を個別に反射する FG 72 を用いている。各 FG 72 の信号光反射率は約 100% (例えば、99%)、また、励起光の透過損失は 3 個の FG 全体で 0.5 dB 以下である。第 5 実施例では、信号光は、従来技術の場合と比較して、ラマンファイバ 1 とサーキュレータ 67 を余分に通過する。第 4 実施例と同様に、ラマン利得の増加分は、 $8.4 - 0.5 = 7.9$ より、約 7.9 dB となる。

【0088】 [第 6 実施例] 図 16 は、本発明のラマン増幅器の第 6 実施例を示す図である。信号光反射器 65 として、図 7(a) のタイプの FG、すなわち、3 波長の

信号光を一括に反射する FG 71 を、また、励起光反射器 4 として、図 2(a) のタイプの FG、すなわち、3 波長の励起光を一括に反射する FG 21 を用いている。信号光反射器 65 としての FG の信号光反射率は約 100% (例えば、99%)。また、励起光の透過損失は 0.2 dB 以下である。また、励起光反射器 65 としての FG の励起光反射率は約 100% (例えば、99%)、また、信号光の透過損失は 0.2 dB 以下である。ラマンファイバの励起光に対する吸収係数、長さおよび励起光損失 (吸収) 値は、それぞれ、0.4 dB/km、4 km、1.6 dB である。第 1 実施例と同様に、従来のラマン増幅器の内部ラマン利得は、信号光波長は 1530-1550 nm で約 10 dB である。

【0089】 上述のように、ラマンファイバの励起光損失値は 1.6 dB であるから、励起光反射器 4 としての FG で反射される励起光パワーは、約 69 mW である。したがって、総合のラマンファイバの入力励起光パワーは、約 169 mW である。第 6 実施例における内部ラマン利得は、約 16.9 dB となる。第 6 実施例では、信号光は、従来技術の場合と比較して、ラマンファイバ 1 とサーキュレータ 67 を余分に通過する。第 5 実施例と同様に、ラマン利得の増加分は、 $16.9 \times 2 - 0.5 - 10 = 23.3$ より、約 23.3 dB となる。

【0090】 [第 7 実施例] 図 17 は、本発明のラマン増幅器の第 7 実施例を示す図である。信号光反射器 65 と励起光反射器 4 とを兼用した、すべての信号光と励起光を反射するミラー 80 を用いている。その反射率は約 100% (例えば、95%) である。また、合波器 3 の信号光通過損失は 0.5 dB である。第 1 実施例と同様に、従来のラマン増幅器の内部ラマン利得は、信号光波長 1530-1550 nm で約 10 dB である。

【0091】 上述のように、ラマンファイバの励起光損失値は 1.6 dB であるから、励起光反射器 4 としての FG で反射される励起光パワーは、約 69 mW である。したがって、総合のラマンファイバの入力励起光パワーは、約 169 mW である。第 7 実施例における内部ラマン利得は、約 16.9 dB となる。第 7 実施例では、信号光は、従来技術の場合と比較して、合波器 3 を 2 回、ラマンファイバ 1 とサーキュレータ 67 を 1 回余分に通過する。第 6 実施例と同様に、ラマン利得の増加分は、 $16.9 \times 2 - 0.5 - 10 = 22.3$ より、約 22.3 dB となる。

【0092】 [第 8 実施例] 図 18 は、本発明のラマン増幅器の第 8 実施例を示す図である。第 1 実施例とは光ファイバが異なり、第 1 実施例では、ラマンファイバを用いた集中増幅を行っているが、第 8 実施例では伝送ファイバ 81 を用いた分布増幅を行っている。ラマンファイバは DSF または SMF であり、励起光に対する吸収係数、長さおよび励起光損失 (吸収) 値は、それぞれ、約 0.2 dB/km、20 km、約 4 dB である。第 8 実

施例で、励起光反射器 4 を用いていない場合が、図 21 に示した従来のラマン増幅器である。その従来のラマン増幅器の内部ラマン利得は、DSF または SMF に対し、信号光波長 1530~1550 nm で約 10 dB または約 6 dB である。

【0093】上述のように、伝送ファイバの励起光損失値は約 4 dB であるから、励起光反射器 4 としての FG 4a で反射される励起光パワーは、約 40 mW である。したがって、総合の伝送ファイバの入力励起光パワーは、約 140 mW である。第 8 実施例における内部ラマン利得は、DSF または SMF に対しそれぞれ約 4 dB または約 8.4 dB であり、ラマン利得の向上は、 $14 - 10 = 4$ または、 $8.4 - 6 = 2.4$ より、それぞれ約 4 dB または約 2.4 dB となる。

【0094】[第 9 実施例] 図 19 は、本発明のラマン増幅器の第 9 実施例を示す図である。第 8 実施例とは、2 個の励起光源 2a、2b を有し、双方向励起を行っている点で異なっている。なお、励起光源 2a、2b には、それぞれ LD 11a、11b、FG 12a、12b、波長選択型合波器 13a、13b、アイソレータ 14a、14b が含まれており、また、励起光源 2a、2b に応じて合波器 3a、3b が設けられている。

【0095】励起光波長は、後方向励起の励起光源 2a で 1430、1440、1450 nm、前方向励起の励起光源 2b で 1460、1470、1480 nm である。それらの励起光波長に対応した信号光波長は、1530~1580 nm である。第 9 実施例で、2 個の励起光反射器 4a、4c を用いない場合が、図 21 に示した従来のラマン増幅器である。その従来のラマン増幅器の内部ラマン利得は、DSF または SMF に対し、信号光波長 1530~1580 nm で、それぞれ約 10 dB または約 6 dB である。

【0096】第 8 実施例と同様に、第 9 実施例における内部ラマン利得は、DSF または SMF に村し、それぞれ約 14 dB または約 8.4 dB であり、ラマン利得の向上は、 $14 - 10 =$ または、 $8.4 - 6 = 2.4$ より、それぞれ約 4 dB または約 2.4 dB となる。

【0097】[第 10 実施例] 図 20 は、本発明のラマン増幅器の第 10 実施例を示す図である。図 18 の第 8 実施例に類似しているが以下の点で異なる。すなわち、第 8 実施例では伝送ファイバが 20 km の DSF であるが、第 10 実施例では、伝送ファイバは 10 km の SMF 1a と 10 km の RDF (逆分散ファイバ) 1b を接続したものである。このような伝送路のファイバ構成は、高速の伝送システムにおいて用いられる。SMF 1a と RDF 1b では、RDF 1b の方が励起効率が低い。したがって、第 10 実施例のラマン利得は第 8 実施例のそれより大きいという利点がある。

【0098】上述した各実施例のラマン増幅器を用いて光ファイバ通信システムを構築することができる。つま

り、伝送ファイバを用いて光ファイバ通信システムにおいて、信号光は、波長分割多重された複数波長のものでも時分割多重された単一波長のものでもよい。また同様に、計測などの光ファイバ通信システム関連分野において、信号光は、波長複数波長のものでも単一波長のものでもよい。

【0099】

【発明の効果】以上説明したように本発明のラマン増幅器によれば、ラマン増幅器の利得媒質である光ファイバと、光ファイバを励起する励起光源と、励起光源からの励起光と入力された信号光をと合波する合波器と、光ファイバを通過した励起光を反射する励起光反射器とを備えたので、光ファイバで損失を受けずに透過した励起光を励起光反射器で反射し、再び光ファイバに入射させるため、総合の入力励起光パワーを増大させることができる。一方、内部ラマン利得は、総合の入力励起光パワーに比例するので、内部ラマン利得は、従来のラマン増幅器と比較して相当量増加し、ラマン増幅器の励起効率が向上するという効果がある。

【0100】また、本発明の各実施例のラマン増幅器を用いることにより、信号光が波長分割多重された複数波長のものでも、時分割多重された単一波長のものでもよい光ファイバ通信システムを構築することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明によるラマン増幅器の第 1 実施形態 (構成例) を示す図である。

【図 2】励起光反射器の実施形態を示す図である。

【図 3】(a) および (b) は、本発明によるラマン増幅器の第 2 実施形態をそれぞれ示す図である。

【図 4】本発明による波長選択型合波器の透過率スペクトルを示す図である。

【図 5】本発明によるラマン増幅器の第 3 実施形態を示す図である。

【図 6】本発明によるラマン増幅器の第 4 実施形態を示す図である。

【図 7】本発明によるラマン増幅器の第 5 実施形態を示す図である。

【図 8】本発明による信号光反射器の構成例を示す図である。

【図 9】本発明によるラマン増幅器の第 6 実施形態を示す図である。

【図 10】本発明によるラマン増幅器の第 7 実施形態を示す図である。

【図 11】本発明によるラマン増幅器の第 1 実施例を示す図である。

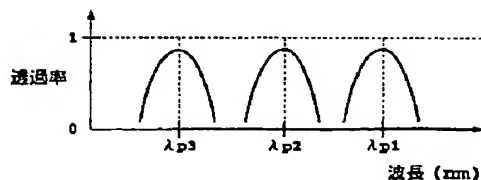
【図 12】本発明によるラマン増幅器の第 2 実施例を示す図である。

【図 13】本発明によるラマン増幅器の第 3 実施例を示す図である。

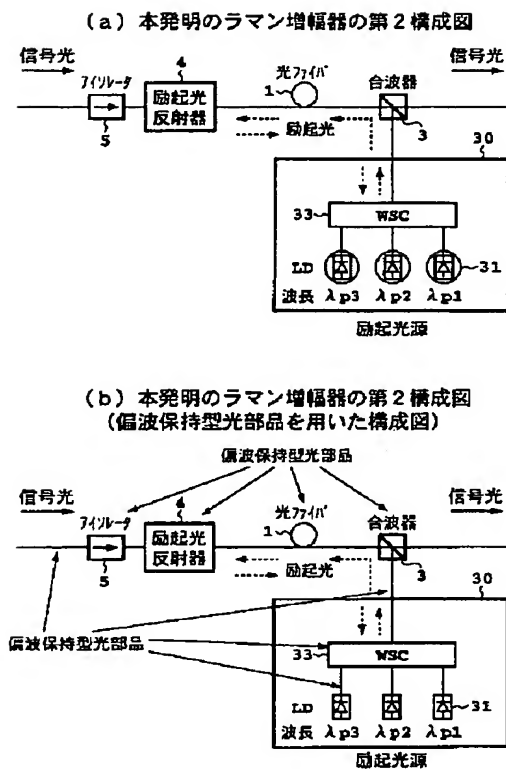
【図 14】本発明によるラマン増幅器の第 4 実施例を示す図である。

【図 2 4】従来の波長選択型合波器の透過率スペクトルを示す図である。

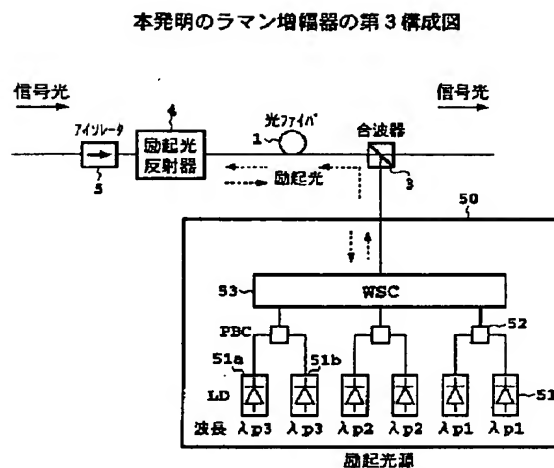
67 サーキュレータ



【図 3】



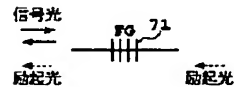
【図 5】



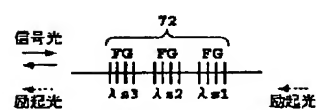
【図 7】

信号光反射器の構成図

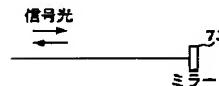
(a)



(b)

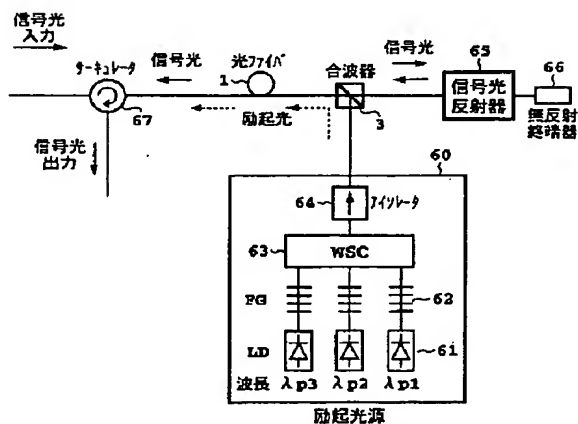


(c)



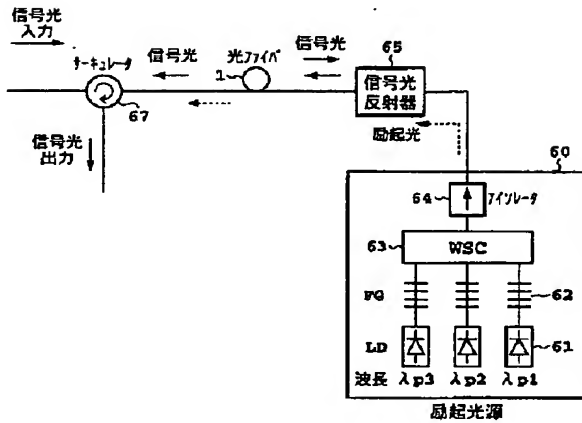
【図 6】

本発明のラマン増幅器の第 4 構成図



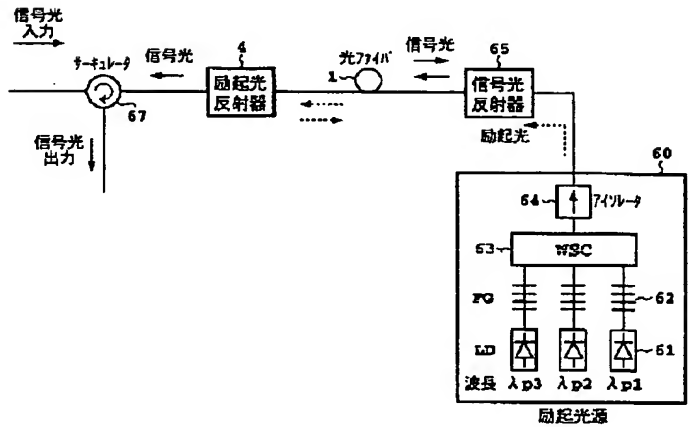
【図 8】

本発明のラマン増幅器の第5構成図



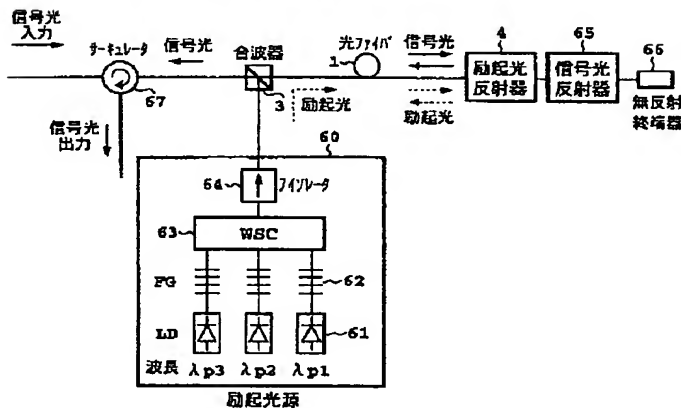
【図 9】

本発明のラマン増幅器の第6構成図



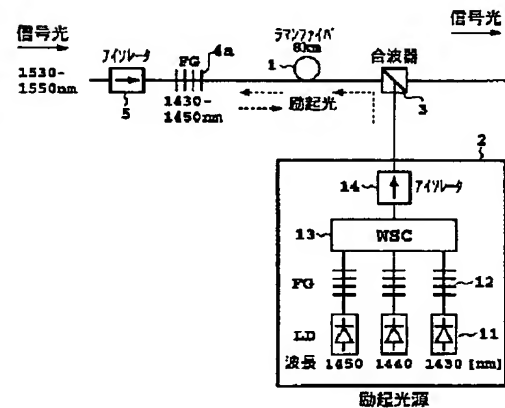
【図 10】

本発明のラマン増幅器の第7構成図



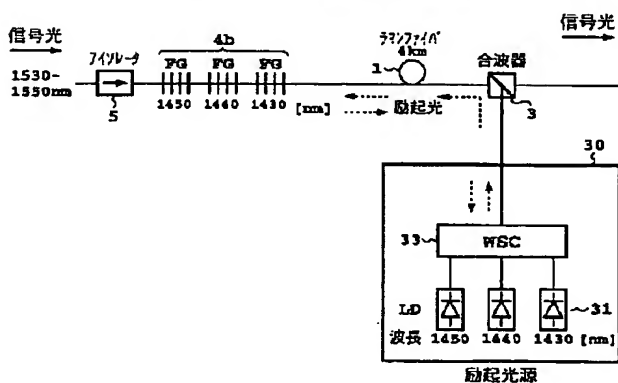
【図 11】

本発明のラマン増幅器の第1実施例



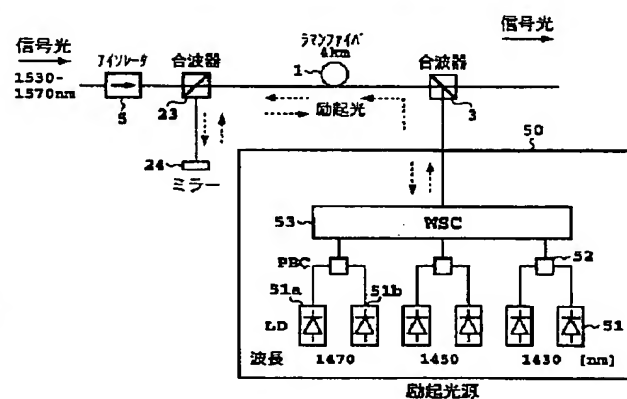
【図 12】

本発明のラマン増幅器の第2実施例



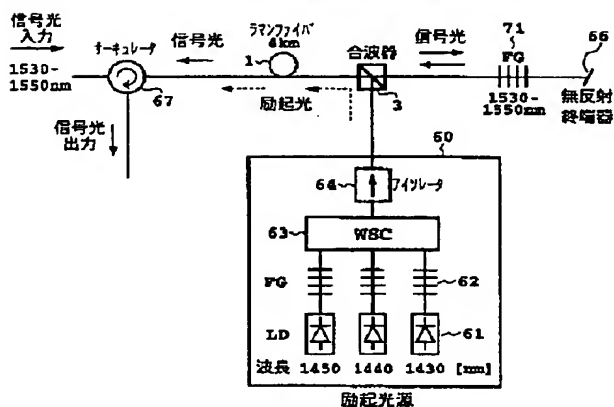
【図 13】

本発明のラマン増幅器の第3実施例



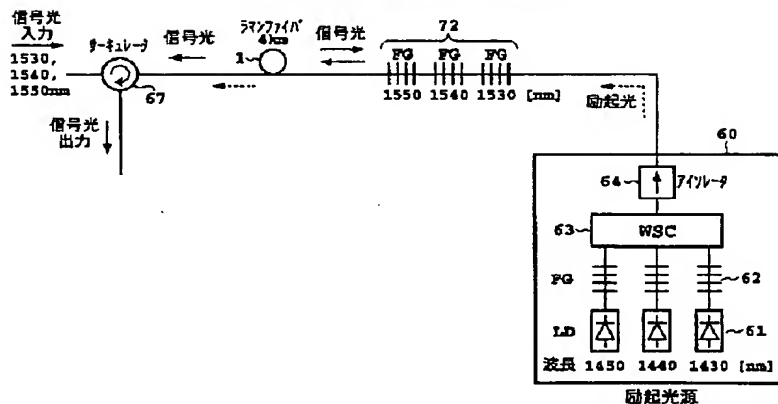
【図 14】

本発明のラマン増幅器の第4実施例



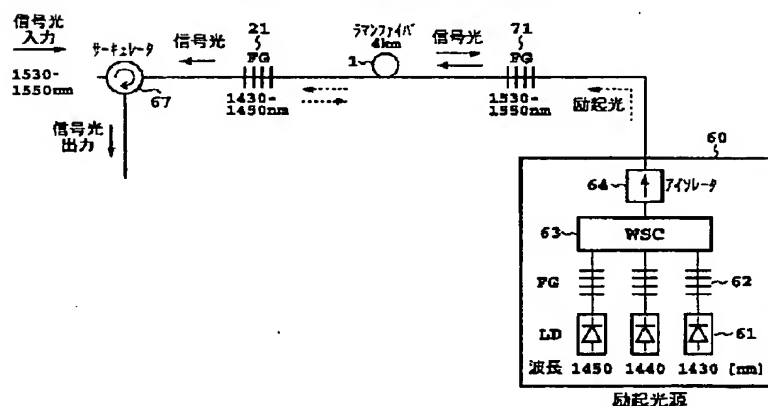
【図 15】

本発明のラマン増幅器の第5実施例



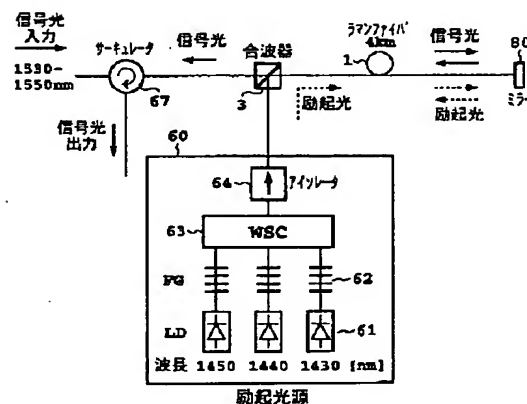
【図 16】

本発明のラマン増幅器の第6実施例



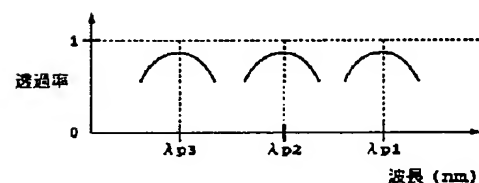
【図 17】

本発明のラマン増幅器の第7実施例



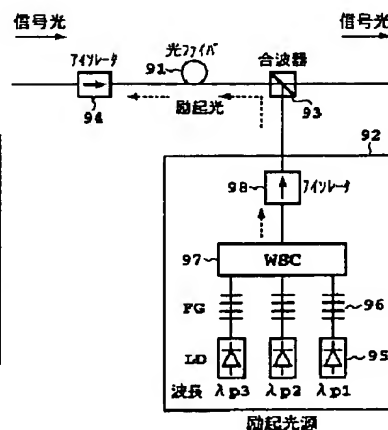
【図 24】

波長選択型合波器の透過率スペクトル



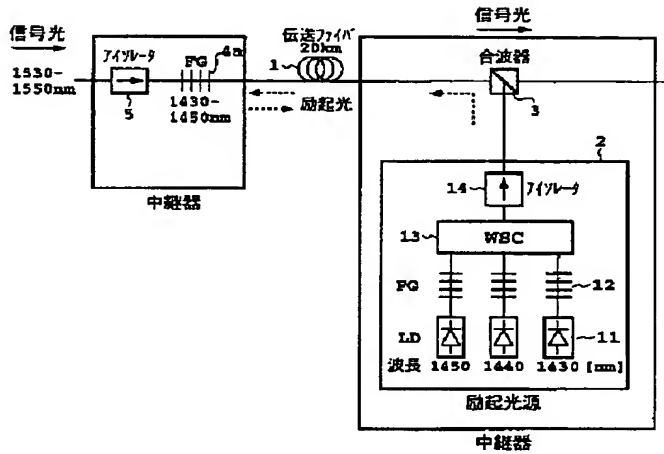
【図 21】

従来のラマン増幅器の第1構成図



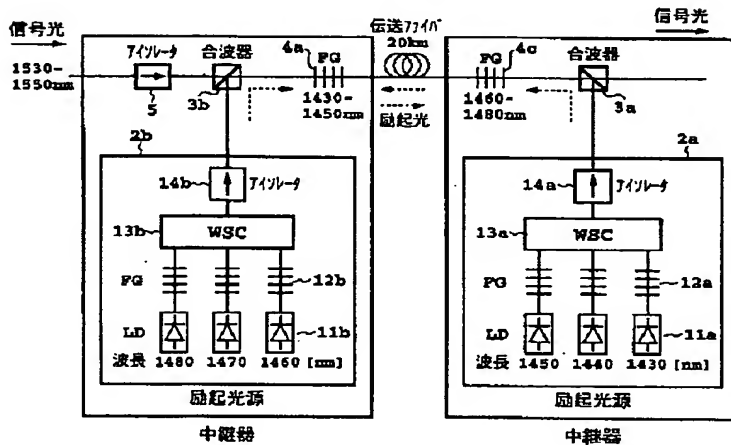
【図18】

本発明のラマン増幅器の第8実施例



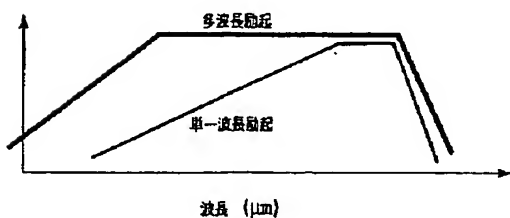
【図19】

本発明のラマン増幅器の第9実施例



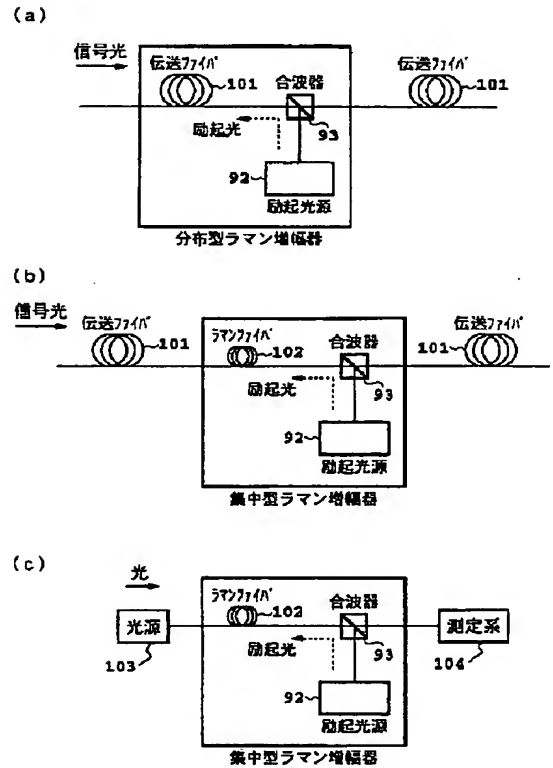
【図26】

ラマン増幅器の利得スペクトル特性



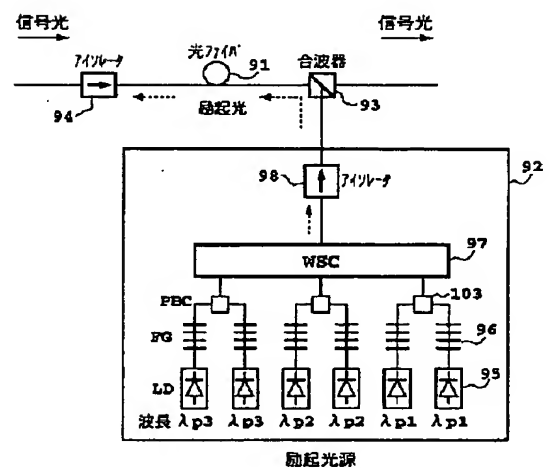
【図22】

ラマン増幅器の適用形態

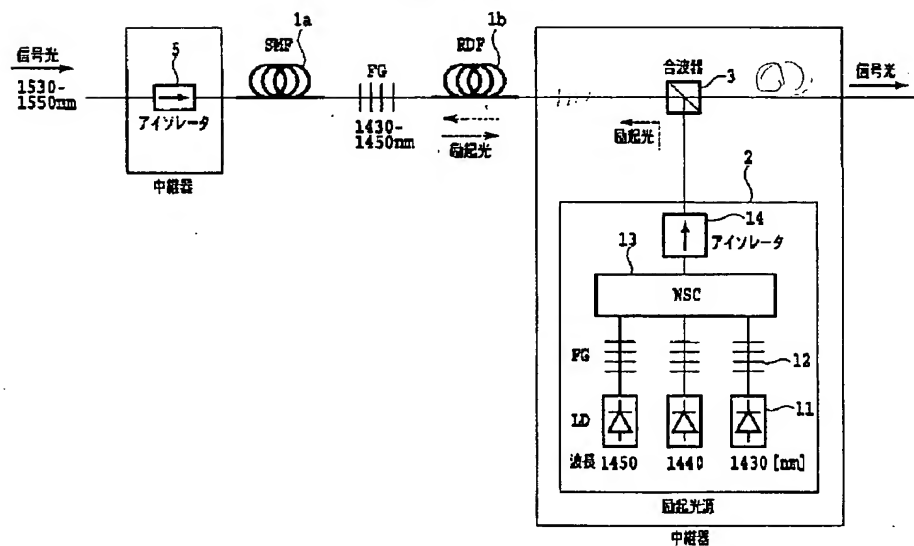


【図23】

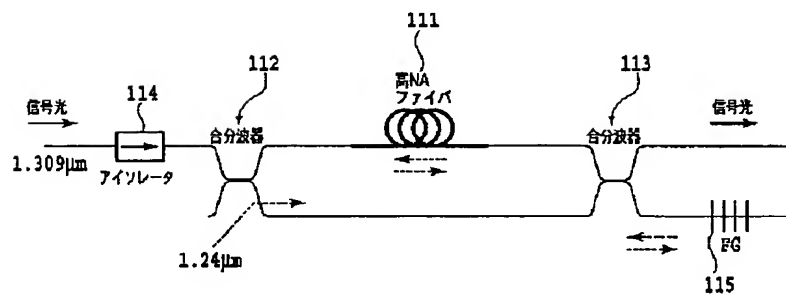
従来のラマン増幅器の第2構成



本発明の第10実施例



従来のラマン増幅器の第3構成例



フロントページの続き

テーマコード* (参考)

J